



Fabrication du compost : de l'industriel à l'artisanal.

Jean Luc Farinet

CIRAD

UR Risque
Environnemental lié au
Recyclage.

Montpellier - FRANCE

CO₂

CH₄

Sommaire

- Les voies de transformation des déchets organiques
- La fermentation alcoolique
- La méthanisation
- Le compostage
- Application : compostage des déchets bananiers

Les voies de transformation des déchets organiques

- Généralités
- Valorisations énergétiques
- Processus anaérobie et aérobie



CO₂

CH₄

Les voies de transformation des déchets organiques

○ Généralités

- La transformation ou valorisation s'oppose à l'élimination des déchets organiques ; leur mise en décharge est maintenant prohibée à cause des risques de pollution et d'émission de GES.
- Des valorisations matière ou pour l'alimentation animale existent de longue date pour certains déchets organiques (pailles, copeaux, drèches, mélasses,...).
- Pour les autres déchets, la valorisation énergétique ou le recyclage agricole s'imposent avec des contraintes environnementales de plus en plus sévères.

Les voies de transformation des déchets organiques

○ Valorisations énergétiques

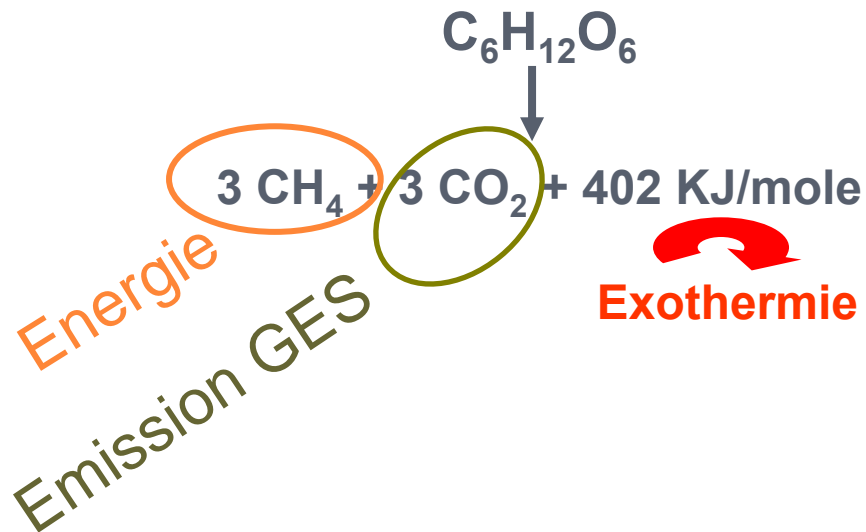
- La voie humide, avec les fermentations au sens large, est la seule voie de valorisation énergétique des déchets organiques qui permette un recyclage agricole, à l'opposé des filières thermo-chimiques.
- En régions chaudes, la voie humide est à privilégier compte tenu :
 - Des températures élevées favorables aux fermentations,
 - De la nécessité du recyclage de matière organique pour les sols soumis à une intense minéralisation.

Les voies de transformation des déchets organiques

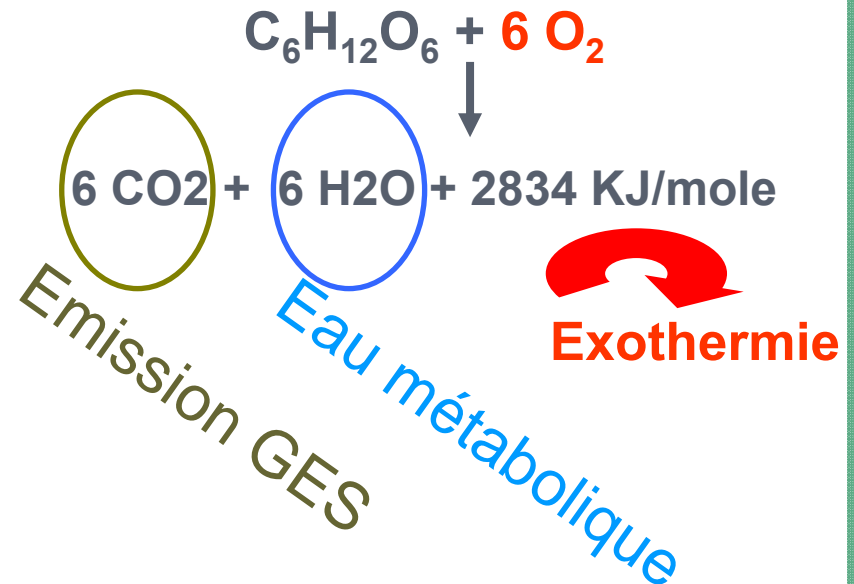
- **Valorisations énergétiques**
 - 2 types de fermentation possibles pour produire de l'énergie à partir des déchets organiques :
 - la fermentation alcoolique
 - la digestion anaérobie ou méthanisation
 - Ces 2 fermentations donnent lieu à un résidu encore riche en matières organiques et minérales et susceptible d'être composté avant son recyclage agricole.

Les processus anaérobie et aérobie

- Anaérobie : en absence totale d'oxygène
- Méthanisation ou digestion anaérobie en réacteur fermé
- Combustion du carbone :



- Aérobie : en présence d'oxygène
- Compostage à l'air libre ou en réacteur ouvert
- Oxydation du carbone :



- En milieu anoxique et en présence de levures :



La fermentation alcoolique

- Objectifs
- Principe industriel
- Produit et co-produit



CO_2

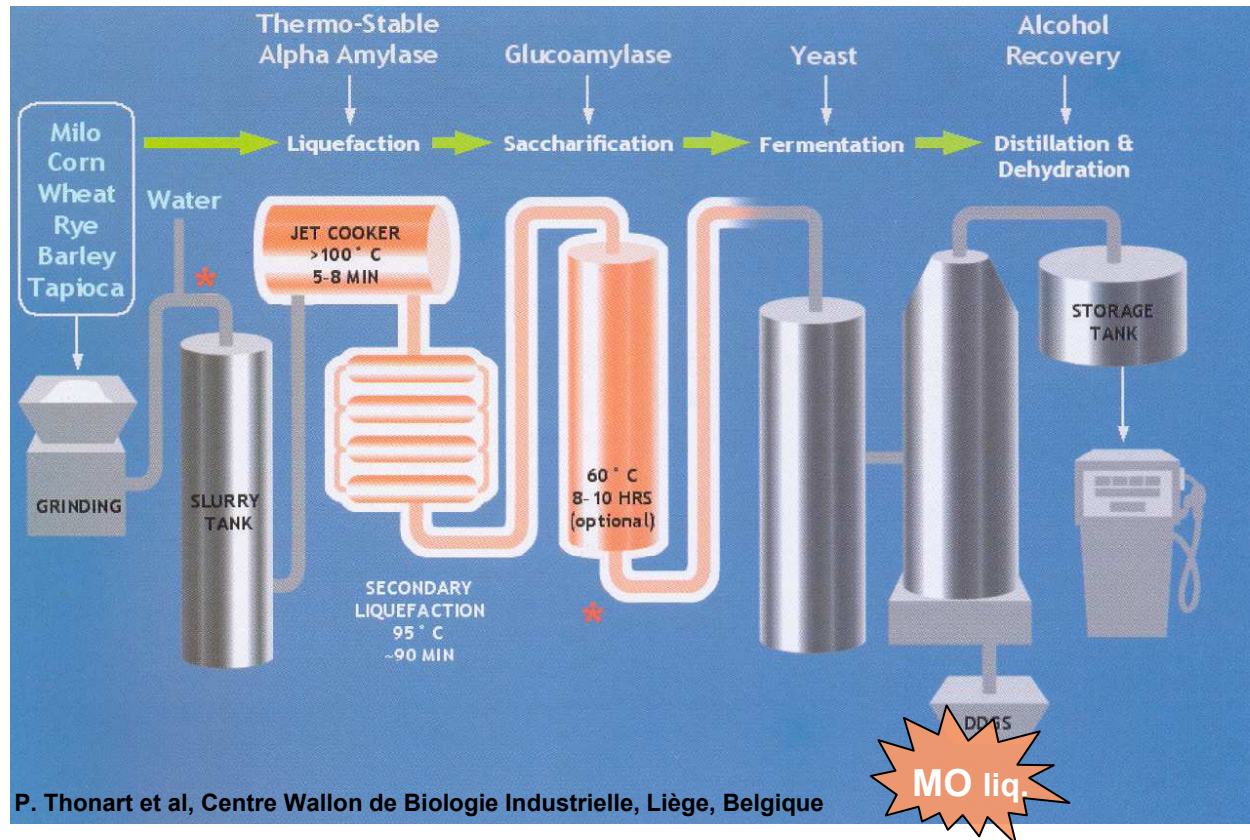
CH_4

La fermentation alcoolique

- Objectif : production d'éthanol à partir de la biomasse
- Domaines d'application :
 - produits à forte teneur en glucides (amidon et sucres libres), par exemple les céréales ou les résidus de l'industrie sucrière (mélasse).
 - Encore peu développée pour la valorisation des autres déchets (cellulosiques) qui exigent des prétraitements mécanique, thermo-chimique et enzymatiques.
- Développement uniquement industriel avec une forte recrudescence ces dernières années aux USA et en Amérique latine.

La fermentation alcoolique

- Principe industriel à partir de l'amidon



La fermentation alcoolique

- Produit principal : l'éthanol

Produits	Rendement (t/ha)	Ethanol (l/t)	Energie (MWh/ha)
Canne à sucre	80-100	80-90	38-53
Maïs	10-12	360-400	21-28
Sorgho	4-5	330-370	8-11
Manioc	15-20	175-190	15-22
<i>Bois</i>	<i>9-15</i>	<i>400-440</i>	<i>21-39</i>
<i>Paille</i>	<i>5-6</i>	<i>440-480</i>	<i>13-17</i>

La fermentation alcoolique

- Un co-produit : les vinasses, recyclées directement dans l'agriculture....



....mais qui nécessiteraient une stabilisation pour réduire les nuisances.

La fermentation alcoolique

- Un co-produit : les vinasses, valorisables dans l'agriculture

Paramètres (kg/m ³)	Vinasse de mélasse	Vinasse de canne
Matière Organique	52,0	23,4
N	0,77	0,28
P ₂ O ₅	0,19	0,20
K₂O	6,00	1,47
CaO	2,45	0,46
MgO	1,04	0,29

La digestion anaérobie ou méthanisation

- Objectifs
- Principe
- Technologies
- Produit et co-produit
- Performances



CO₂

CH₄

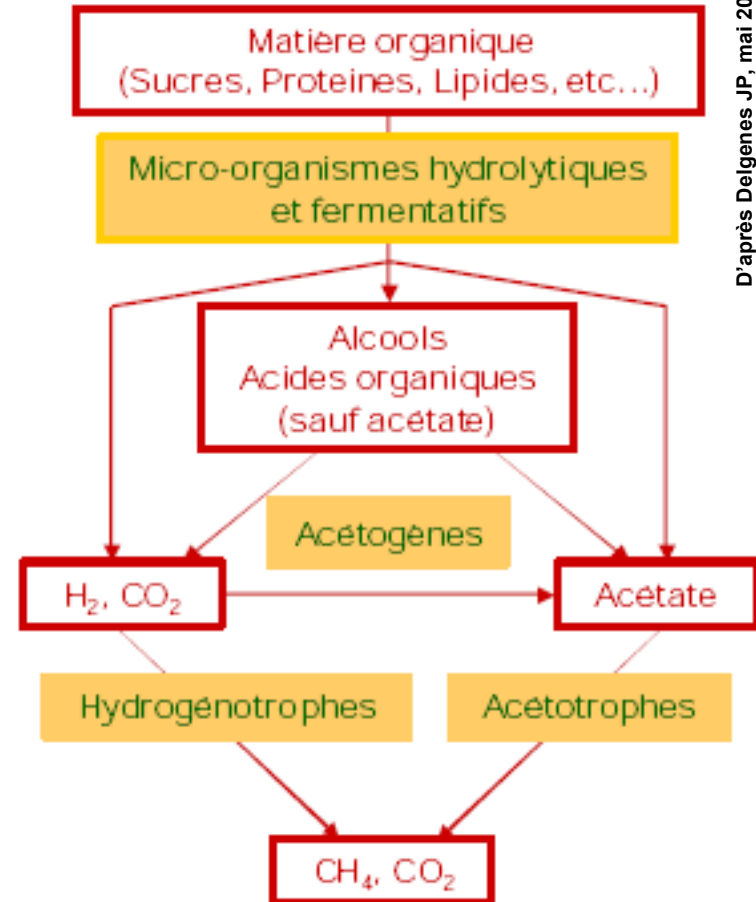
La méthanisation

- Objectifs : production de gaz méthane (CH_4), stabilisation et hygiénisation partielles des déchets organiques.
- Domaines d'application :
 - Valorisation des effluents liquides chargés en matière organique ($> 5000 \text{ mg DCO/l}$ et $< 15\% \text{ MS}$) par exemple : vinasses, lisiers, boues d'épuration,...
 - Valorisation des déchets organiques solides (15 à 50% MS) par exemple : fumier, FFOM, pulpe/épluchures, matières stercoraires,...
- Actuellement en pleine croissance avec de gros efforts de R&D en Europe.

La méthanisation

○ Principe

- Fermentation en 3 étapes
- Flore bactérienne mixte en équilibre
- Théoriquement :
 - 0,35 m³ CH₄/kg DCO
 - Maxi 1,10 m³ CH₄/kg MO



D'après Delgenes JP, mai 2007

La méthanisation

○ Conditions opératoires

- Taux d'humidité des déchets > 50% (généralement > 65%)
- Température : psychrophile (< 30°C), mésophile (30 à 40°C) ou thermophile (50 à 65°C)
- pH proche de la neutralité ; alcalinité > 1000 mg/l (CaCO_3)
- Potentiel Oxydo Réduction < 200 mV
- Nutriments : N, P + oligoéléments
- Charge appliquée et temps de séjour :
 - 0,5 à 40 kg DCO/m³.j soit 120 à 1 j pour les effluents liquides
 - 1 à 10 kg MO/m³.j soit 55 à 15 j pour les déchets solides

La méthanisation

○ Technologies

- Sur les effluents liquides (< 15% MS)

- Pas de prétraitement

- Mono ou bi-phase

- Biomasse libre ou fixée



- Sur les déchets solides

- Parfois un prétraitement

- Dilution (10-15% MS) puis digestion humide

- Digestion sèche (20-45% MS)

- Discontinue en cuve

- Continue en réacteur piston



La méthanisation

○ Technologies

- En amont :
 - Fosse ou aire tampon de stockage/mélange
 - Dispositif d'alimentation du digesteur
- En aval :
 - Stockage tampon et utilisation du biogaz
 - Fosse ou aire de collecte du digestat avec séparation solide/liquide
 - Aire de maturation et affinage du compost
 - Traitement de la fraction liquide

La méthanisation

○ Produit principal: le biogaz

- 50 à 75% de méthane, selon les déchets traités et le régime de fermentation
- 25 à 50% de CO_2 , traces NH_3 , H_2S , H_2 ,...
- Pouvoir calorifique (PCI) : 4250 à 6400 kcal/m³
- 1 m³ biogaz \approx 0,5 l gasoil \approx 0,8 kg charbon \approx 0,5 kg butane
- Utilisation : à l'état brut si peu d' H_2S :
 - Combustible pour la production d'énergie thermique
 - Biocarburant pour l'alimentation des moteurs

La méthanisation

- Un co-produit : le digestat
 - Parfois utilisé directement comme engrais organique (déjections animales) ou aliment piscicole (Asie).
 - Plus souvent séparé en :
 - une fraction solide qui devra subir une maturation aérobie pendant 1 à 3 mois pour devenir un compost.
 - une fraction liquide, recyclée en tête ou pour la maturation mais dont l'excédent doit être épandu ou épuré en cas de rejet.

La méthanisation

○ Performances

Déchets/Effluents	Rendement (m ³ CH ₄ /t MO)	Energie (kWh/t)	Compost (t/t)
Vinasse de mélasse	220 (sur DCO)	126	1,0 (dig.)
Lisier de porcs	300	120	1,0 (dig.)
Pelures de manioc	380	107	0,20
Pulpe de café	140	170	0,24
FFOM (biodéchets)	200-300	450-700	0,30
Matières stercoraires	150-200	220-300	0,12

Le compostage

- Définition et objectifs
- Principe
- Technologies
- Produit



CO₂

CH₄

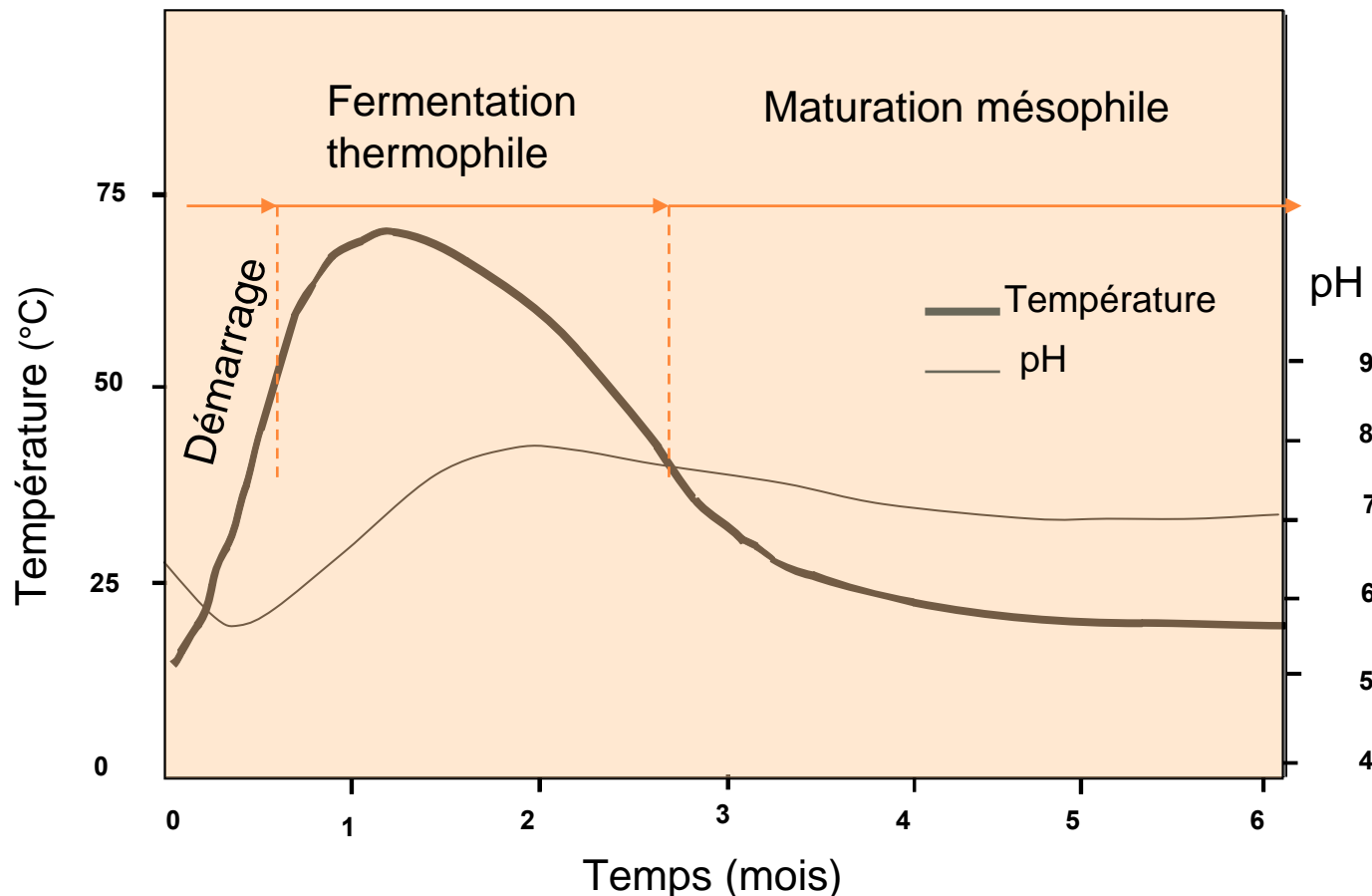
Le compostage

- **Définition** : fermentation aérobie des déchets organiques qui engendre une minéralisation et une réorganisation du carbone et de l'azote.
- **Objectifs** : réduction de la masse des déchets, stabilisation des composés organiques, concentration des minéraux, hygiénisation.
- **Domaines d'application** :
 - Valorisation des déchets organiques solides
 - Co-valorisation possible liquide/solide après une imprégnation
- **Filière en forte croissance ces dernières années en Europe avec une réglementation de plus en plus contraignante.**

Les techniques de compostage

○ Principe

- Processus en 3 phases consécutives caractérisées par l'évolution de la température et du pH






Les techniques de compostage

○ Conditions opératoires

- Taux d'humidité des déchets de 55 à 70%
- Température : issue d'un équilibre avec le milieu extérieur, c'est un indicateur du compostage ; jusqu'à 75°C en phase thermophile
- pH proche de la neutralité au départ
- C/N : 20 à 70 ; optimal à 30-35 au départ
- Taux O₂ > 5% soit un volume d'espaces lacunaires minimum de 35-40% (matériaux structurants)

Les techniques de compostage

○ Technologies :

- Extensive, en andains retournés 
- Intensive à aération forcée 
- En réacteur industriel 
- Cas particulier : le lombri-compostage

○ En amont : tri, broyage, mélange,...

○ En aval : criblage, épierrage, ensachage...

Les techniques de compostage

- Un produit : le compost

- Qualité variable en fonction des déchets de départ et de la durée de maturation :
 - Produit riche en éléments fertilisants et peu mûré sera plutôt utilisé comme fertilisant et amendement en grandes cultures,
 - Produit plus pauvre mais très stable pourra être utilisé comme support de culture en pépinières ou en horticulture.
- En général : pertes d'azote (20 à 50%), conservation du phosphore, calcium et magnésium, peu de pertes de potassium si on évite la lixiviation.

Application : compostage des déchets bananiers



CO₂

CH₄

Application : compostage des déchets bananiers

- Exemple d'une plantation de 1000 ha bananiers en Afrique avec à proximité des élevages de volailles et une unité de préparation du cacao.
- Déchets disponibles annuellement :
 - 1700 T hampes bananiers
 - 1900 T refus de triage
 - environ 2000 T parches de cacao
 - environ 1000 T fumier volailles

Application : compostage des déchets bananiers

Composition des déchets

Déchets	Hum. (%)	Corg (%MS)	Nt (%MS)	P ₂ O ₅ (%MS)	K ₂ O (%MS)
Hampes et écarts	86,1	38,5	0,82	0,33	8,09
Fumier volailles	20,4	34,7	3,29	6,89	2,53
Parches cacao	12,9	46,7	1,22	0,83	2,94

- Constat : déchets bananiers très humides et pauvres en azote (C/N = 47)

Application : compostage des déchets bananiers

- Quelles quantités de parches et de fumier ajouter pour obtenir un mélange compostable :

- Humidité 55%
- C/N = 20



- Bilan du potentiel de fertilisation :

- 59 T azote ↓
- 96 T phosphate →
- 71 T potasse →

Merci de votre attention

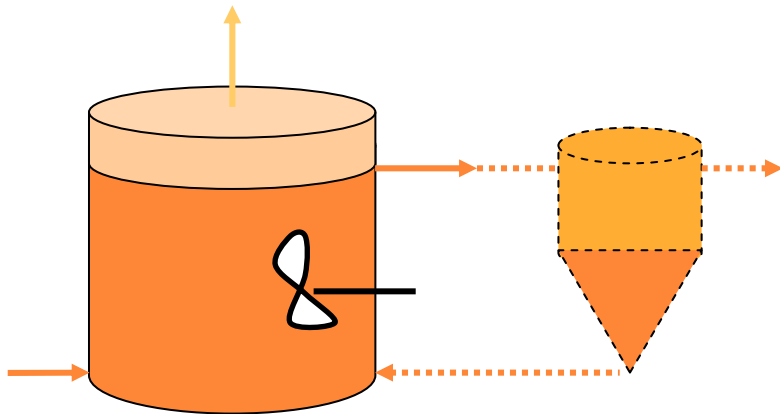
CO_2

CH_4

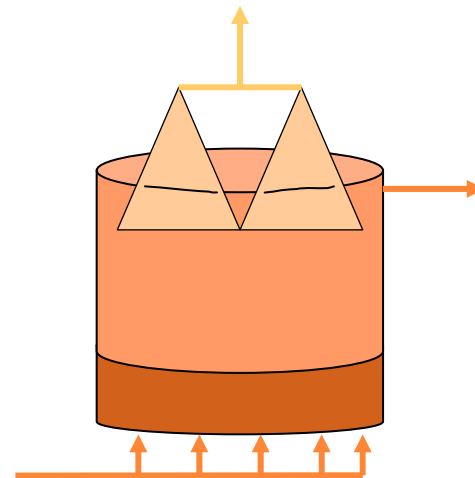
Digesteurs pour effluents liquides

○ Biomasse libre

- Infiniment mélangé



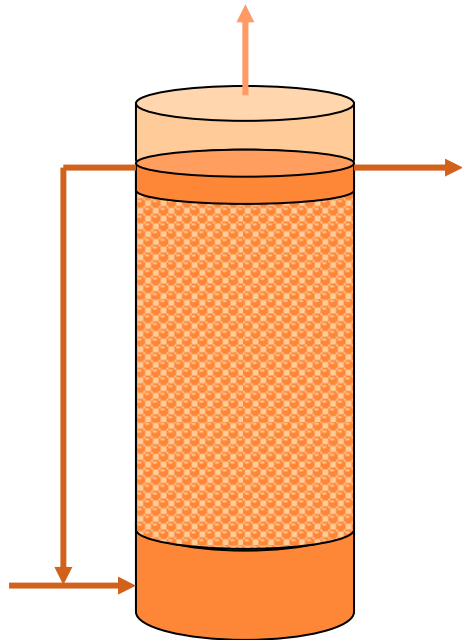
- À lit de boue (UASB, SBR)



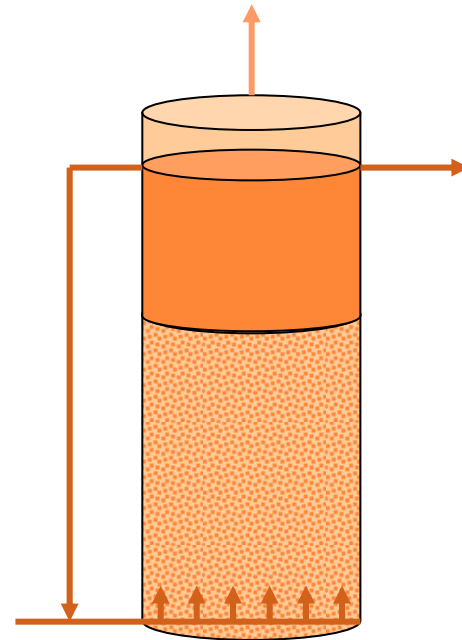
Digesteurs pour effluents liquides

○ Biomasse fixée

• Filtre anaérobie

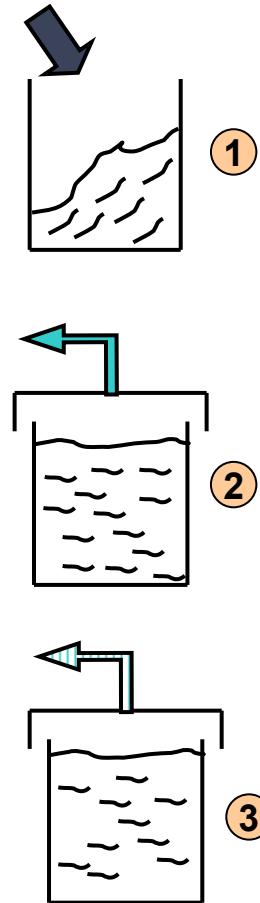
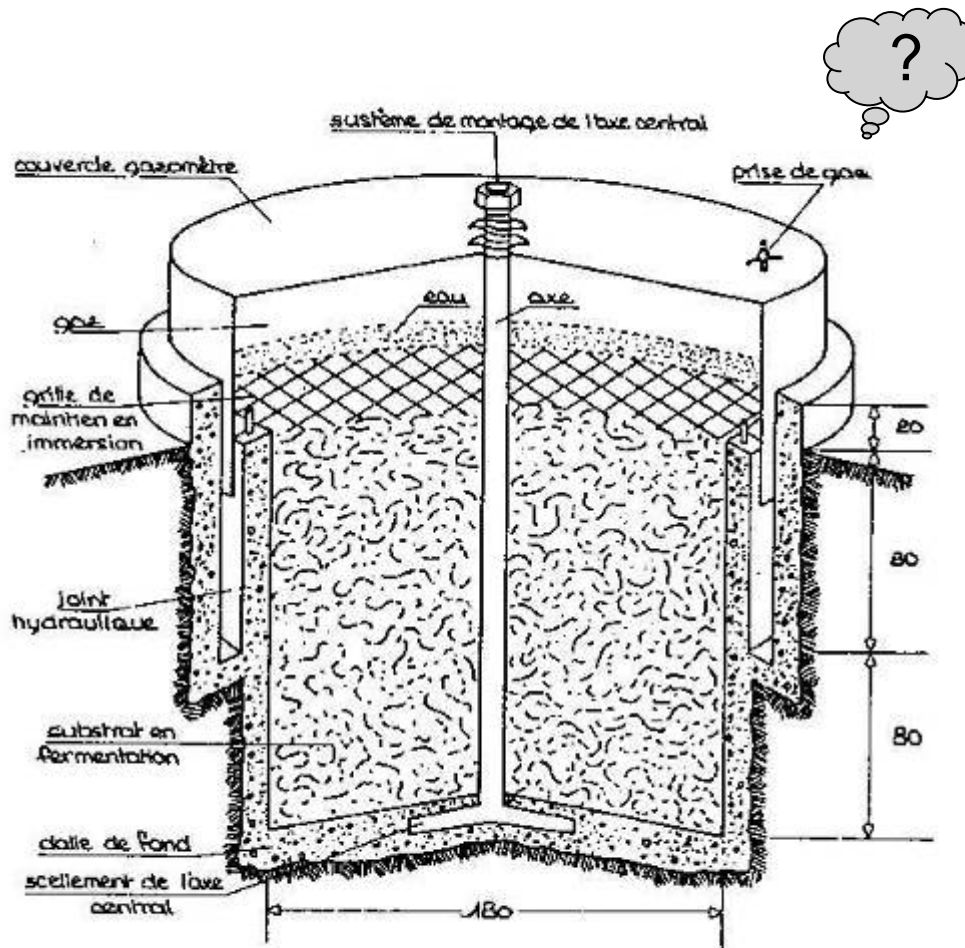


• Lit fluidisé

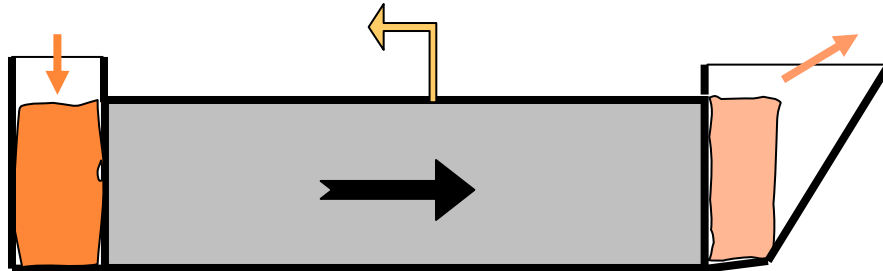


Digesteurs pour déchets solides

○ Cuves en discontinu



Digesteurs pour déchets solides



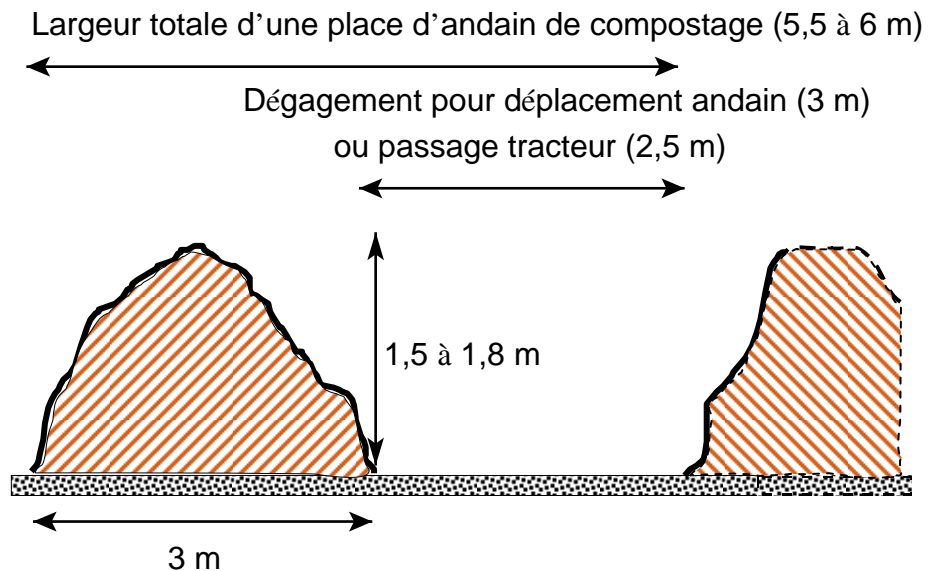
- Continu en réacteur tubulaire (Kompogas, Transpaille, Dranco, BRV)

- A injection de gaz (Valorga, Linde)



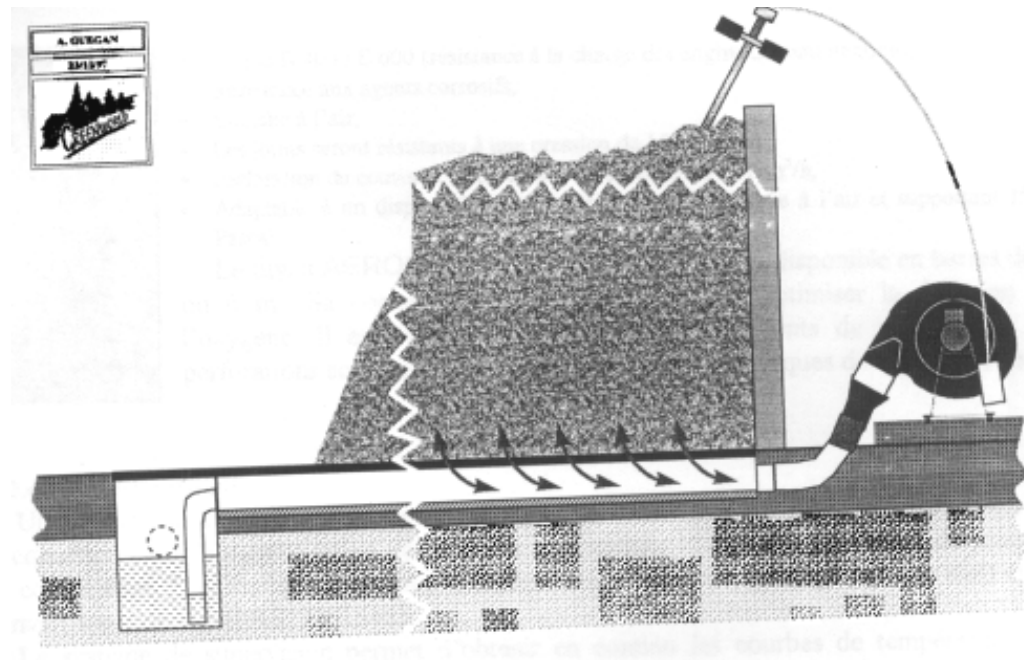
Le compostage

Compostage extensif en andains retournés



Le compostage

○ Compostage intensif à aération forcée



Source : Greenpro



Le compostage

○ Compostage en réacteur industriel



Procédé BRS

